

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
27. November 2003 (27.11.2003)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 03/098645 A1**

(51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: **H01F 6/04**,  
F02D 15/02, F25B 25/00, G01R 33/3815

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von  
US): **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT** [DE/DE];  
Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: **PCT/DE03/01378**

(72) Erfinder; und

(22) Internationales Anmeldedatum:  
29. April 2003 (29.04.2003)

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **VAN HASSELT, Peter**  
[DE/DE]; Tennenloher Str. 40, 91058 Erlangen (DE).

(25) Einreichungssprache: **Deutsch**

(74) Gemeinsamer Vertreter: **SIEMENS AKTIENGE-  
SELLSCHAFT**; Postfach, 80506 München (DE).

(26) Veröffentlichungssprache: **Deutsch**

(81) Bestimmungsstaaten (national): **CN, JP, US.**

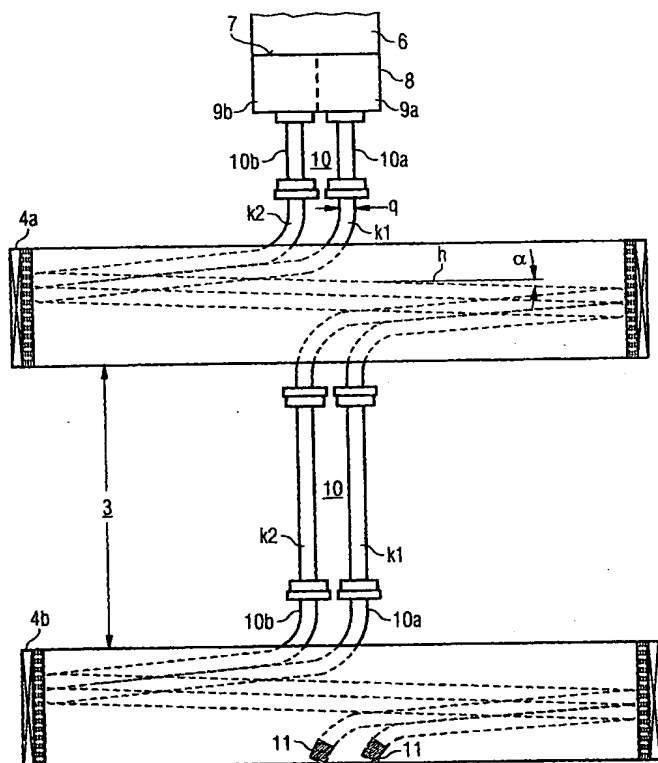
(30) Angaben zur Priorität:  
102 21 639.8 15. Mai 2002 (15.05.2002) **DE**

(84) Bestimmungsstaaten (regional): europäisches Patent (AT,  
BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR,  
HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: **SUPERCONDUCTOR TECHNOLOGY-RELATED DEVICE COMPRISING A SUPERCONDUCTING MAGNET  
AND A COOLING UNIT**

(54) Bezeichnung: **EINRICHTUNG DER SUPRALEITUNGSTECHNIK MIT EINEM SUPRALEITENDEN MAGNETEN UND  
EINER KÄLTEEINHEIT**



(57) Abstract: Disclosed is a device (2) comprising a superconducting magnet (3) that is provided with at least one cooling agent-free superconducting coil (4a, 4b), and a cooling unit that is provided with at least one cold head (6). A conduit system (10) thermally couples the coil (4a, 4b) to the cold head (6), said conduit system (10) comprising at least one duct (10a, 10b) in which a cooling agent (k1, k2) circulates according to a thermosyphon effect.

(57) Zusammenfassung: Die Einrichtung (2) enthält einen supraleitenden Magneten (3) mit mindestens einer kältemittelfreien supraleitenden Wicklung (4a, 4b) und eine Kälteeinheit mit mindestens einem Kaltkopf (6). Zur thermischen Ankopplung der Wicklung (4a, 4b) an den Kaltkopf (6) dient ein Leitungssystem (10) mit wenigstens einer Rohrleitung (10a, 10b) für ein darin nach einem Thermosyphon-Effekt zirkulierendes Kältemittel (k1, k2).

WO 03/098645 A1

**Erklärungen gemäß Regel 4.17:**

- hinsichtlich der Berechtigung des Anmelders, ein Patent zu beantragen und zu erhalten (Regel 4.17 Ziffer ii) für die folgenden Bestimmungsstaaten CN, JP, europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR)
- Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv) nur für US

**Veröffentlicht:**

- mit internationalem Recherchenbericht

- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

## Beschreibung

Einrichtung der Supraleitungstechnik mit einem supraleitenden Magneten und einer Kälteeinheit

5

Die Erfindung bezieht sich auf eine Einrichtung der Supraleitungstechnik

- mit einem Magneten, der mindestens eine supraleitfähige, kältemittelfreie Wicklung enthält,
- 10 - mit einer Kälteeinheit, die mindestens einen Kaltkopf aufweist,

und

- mit Mitteln zur thermischen Ankopplung der mindestens einen Wicklung an den mindestens einen Kaltkopf.

15 Entsprechende Einrichtungen der Supraleitungstechnik gehen z.B. aus „Proc. 16<sup>th</sup> Int. Cryog. Engng. Conf. [ICEC 16]“, Kitakyushu, JP, 20. 24.05.1996, Verlag Elsevier Science, 1997, Seiten 1109 bis 1132 hervor.

20 Neben den seit langem bekannten metallischen Supraleitermaterialien wie z.B. NbTi oder Nb<sub>3</sub>Sn, die sehr niedrige Sprungtemperaturen  $T_c$  besitzen und deshalb auch als Niedrig(Low)- $T_c$ -Supraleitermaterialien oder LTS-Materialien bezeichnet werden, kennt man seit 1987 metalloxidische Supraleitermaterialien mit Sprungtemperaturen  $T_c$  von über 77 K. Letztere Materialien werden auch als Hoch(High)- $T_c$ -Supraleitermaterialien oder HTS-Materialien bezeichnet.

30 Mit Leitern unter Verwendung solcher HTS-Materialien versucht man auch, supraleitende Magnetwicklungen zu erstellen. Wegen ihrer bislang noch verhältnismäßig geringen Stromtragfähigkeit in Magnetfeldern, insbesondere mit Induktionen im Tesla-Bereich, werden vielfach die Leiter solcher Wicklungen trotz der an sich hohen Sprungtemperaturen  $T_c$  der verwendeten Materialien dennoch auf einem unterhalb von 77 K liegenden Temperaturniveau, beispielsweise zwischen 10 und 50 K gehalten, um

35

so bei höheren Feldstärken wie z.B. von einigen Tesla nennenswerte Ströme tragen zu können.

5 Zur Kühlung von Wicklungen mit HTS-Leitern kommen in dem genannten Temperaturbereich bevorzugt Kälteeinheiten in Form von sogenannten Kryokühlern mit geschlossenem Helium-Druckgaskreislauf zum Einsatz. Solche Kryokühler sind insbesondere vom Typ Gifford-McMahon oder Stirling oder sind als sogenannte Pulsröhrenkühler ausgebildet. Entsprechende Kälteeinheiten  
10 haben zudem den Vorteil, dass die Kälteleistung quasi auf Knopfdruck zur Verfügung steht und dem Anwender die Handhabung von tiefkalten Flüssigkeiten erspart wird. Bei einer Verwendung solcher Kälteeinheiten wird z.B. eine supraleitende Magnetspulenwicklung nur durch Wärmeleitung zu einem Kaltkopf eines Refrigerators indirekt gekühlt, ist also kältemittelfrei (vgl. auch die genannte Textstelle aus ICEC 16).

Die Kühlung supraleitender Magnetsysteme insbesondere von MRI (Magnetresonance Imaging)-Anlagen ist derzeit bei heliumgekühlten Magneten in der Regel als Badkühlung ausgeführt  
20 (vgl. US 6,246,308 B1). Hierfür ist als Vorrat eine vergleichsweise große Menge an flüssigem Helium erforderlich, beispielsweise einige 100 Liter. Dieser Vorrat führt in einem Quenchfall des Magneten, d.h. bei einem Übergang von zunächst  
25 supraleitenden Teilen seiner Wicklung in den normalleitenden Zustand, zu einem unerwünschten Druckaufbau in einem erforderlichen Kryostaten.

Bei LTS-Magneten wurden bereits Refrigerator-Kühlungen unter  
30 Verwendung von gut-wärmeleitenden Verbindungen wie z.B. in Form von gegebenenfalls auch flexibel ausgeführten Cu-Rohren zwischen einem Kaltkopf einer entsprechenden Kälteeinheit und der supraleitenden Wicklung des Magneten realisiert (vgl. die genannte Literaturstelle aus ICEC 16, insbesondere Seiten  
35 1113 bis 1116). Je nach Abstand zwischen dem Kaltkopf und dem zu kühlenden Objekt führen dann aber die für eine gute thermische Ankopplung erforderlichen großen Querschnitte zu einer

beträchtlichen Vergrößerung der Kaltmasse. Insbesondere bei den in MRI-Anwendungen üblichen, räumlich ausgedehnten Magnetsystemen ist dies auf Grund der verlängerten Abkühlzeiten von Nachteil.

5

Statt einer solchen thermischen Ankopplung der mindestens einen Wicklung an den mindestens einen Kaltkopf über wärmeleitende Festkörper kann auch ein Leitungssystem vorgesehen sein, in dem ein He-Gasstrom zirkuliert (vgl. z.B.

10 US 5,485,730).

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, eine Einrichtung der Supraleitungstechnik mit den eingangs genannten Merkmalen anzugeben, bei dem der Aufwand zur Kühlung einer supraleitenden Wicklung verringert ist.

15

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß mit den in Anspruch 1 angegebenen Maßnahmen gelöst. Demgemäß sollen die thermischen Ankopplungsmittel zwischen der mindestens einen Wicklung und dem mindestens einen Kaltkopf als ein Leitungssystem mit wenigstens einer Rohrleitung für ein darin nach einem Thermosyphon-Effekt zirkulierendes Kältemittel ausgebildet sein. Unter einem Kaltkopf sei hierbei jede beliebige Kaltfläche einer Kälteeinheit verstanden, über die die Kälteleistung an

25

Ein derartiges Leitungssystem weist wenigstens eine geschlossene Rohrleitung auf, die zwischen dem Kaltkopf und der supraleitenden Wicklung mit einem Gefälle verläuft. Das Gefälle beträgt dabei zumindest in einigen Teilen der Rohrleitung im Allgemeinen mehr als  $0,5^\circ$ , vorzugsweise mehr als  $1^\circ$  gegenüber der Horizontalen. Das in dieser Rohrleitung befindliche Kältemittel rekondensiert an einer Kaltfläche der Kälteeinheit bzw. des Kaltkopfes und gelangt von dort in den Bereich der

35

supraleitenden Wicklung, wo es sich erwärmt und dabei im Allgemeinen verdampft. Das so verdampfte Kältemittel strömt dann innerhalb der Rohrleitung wieder zurück in den Bereich der

Kaltfläche des Kaltkopfes. Die entsprechende Zirkulation des Kältemittels erfolgt demnach auf Grund eines sogenannten „Thermosyphon-Effektes“.

- 5 Durch die Verwendung eines solchen Thermosyphons (wie ein entsprechendes Leitungssystem auch bezeichnet wird) zur Übertragung der Kälteleistung an die Wicklung wird die erforderliche umlaufende Menge des kryogenen Kältemittels im Vergleich zu einer Badkühlung erheblich reduziert, beispielsweise um einen Faktor von etwa 100. Da außerdem die Flüssigkeit  
10 nur in Rohrleitungen mit vergleichsweise kleinen Durchmessern, die im Allgemeinen in der Größenordnung von wenigen Zentimetern liegen, zirkuliert, ist der Druckaufbau in einem Quenchfall ohne Probleme technisch beherrschbar. Neben den  
15 Sicherheitsaspekten ist die Verringerung der Menge an flüssigem Kältemittel im System, insbesondere bei einer Verwendung von Helium oder Neon als Kältemittel, außerdem ein deutlicher Kostenvorteil. Im Vergleich zu einer Kühlung mit wärmeleitenden Verbindungskörpern bietet ein Thermosyphon außerdem den  
20 Vorteil einer guten thermischen Ankopplung unabhängig von der räumlichen Entfernung zwischen dem Kaltkopf und dem zu kühlenden Objekt.

Vorteilhafte Ausgestaltungen der Einrichtung der Supraleitungstechnik nach der Erfindung gehen aus den abhängigen Ansprüchen hervor.

- So kann das Leitungssystem insbesondere zwei oder mehr Rohrleitungen aufweisen, die mit verschiedenen Kältemitteln mit  
30 unterschiedlicher Kondensationstemperatur gefüllt sind. Damit sind je nach Anforderung der Anwendung entsprechend abgestufte Arbeitstemperaturen, z.B. für eine Vorkühlung, eine quasi kontinuierliche thermische Ankopplung oder eine quasi kontinuierliche thermische Ankopplung durch überlappende Arbeits-  
35 temperaturbereiche der Kältemittel möglich. Die Teilsysteme können dabei entweder an einen gemeinsamen Kaltkopf oder auch

an getrennte Kaltköpfe einer Kälteeinheit thermisch angekoppelt sein.

Besonders vorteilhaft kann der supraleitende Magnet der Einrichtung eine Wicklung enthalten, die supraleitendes HTS-Material aufweist und insbesondere auch auf einer Temperatur unter 77 K zu halten ist. Selbstverständlich ist aber eine erfindungsgemäße Einrichtung der Supraleitungstechnik auch für LTS-Magnete auszulegen.

Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der erfindungsgemäßen Einrichtung gehen aus den vorstehend nicht angesprochenen abhängigen Ansprüchen hervor.

Nachfolgend werden bevorzugte Ausführungsbeispiele von Einrichtungen der Supraleitungstechnik nach der Erfindung an Hand der Zeichnung noch weiter erläutert. Dabei zeigen jeweils schematisch im Schnitt

deren Figur 1 die Kühlung eines MRI-Magneten mit zwei Wicklungen

und

deren Figur 2 die Kühlung eines anderen MRI-Magneten mit vier Wicklungen.

Bei der in der Figur 1 allgemein mit 2 bezeichneten und nur in ihren für die Erfindung wesentlichen Details ausgeführten Einrichtung der Supraleitungstechnik kann es sich insbesondere um einen Teil einer MRI-Magnetanlage handeln. Dabei wird von an sich bekannten Ausführungsformen mit einem sogenannten

C-Magneten ausgegangen (vgl. z.B. DE 198 13 211 C2 oder EP 0 616 230 A1). Diese Anlage enthält deshalb einen nicht näher ausgeführten, vorzugsweise supraleitenden Magneten 3 mit einer oberen, in einer horizontalen Ebene liegenden supraleitenden Wicklung 4a und einer dazu parallel angeordneten, unteren supraleitenden Wicklung 4b. Diese Wicklungen können insbesondere mit Leitern aus Hoch- $T_c$ -Supraleitermaterial wie z.B.  $(Bi,Pb)_2Sr_2Ca_2Cu_3O_x$  erstellt sein, das aus Gründen einer

hohen Stromtragfähigkeit auf einer Betriebstemperatur unter 77 K gehalten werden kann. Die Wicklungen weisen eine Ring-Form auf. Sie sind jeweils in einem entsprechenden, nicht dargestellten Vakuumgehäuse untergebracht.

5

Die Kälteleistung zur Kühlung der Wicklungen 4a und 4b wird von einer nicht näher dargestellten Kälteeinheit mit wenigstens einem an ihrem kalten Ende befindlichen Kaltkopf 6 bereit gestellt. Dieser Kaltkopf weist eine auf einem vorbestimmten Temperaturniveau zu haltende Kaltfläche 7 auf oder ist mit dieser thermisch verbunden. An diese Kaltfläche ist thermisch der Innenraum einer Kondensorkammer 8 angekoppelt; beispielsweise bildet die Kaltfläche 7 eine Wand dieses Raumes. Gemäß dem dargestellten Ausführungsbeispiel ist der Innenraum dieser Kondensorkammer 8 in zwei Teilräume 9a und 9b unterteilt. An den (ersten) Teilraum 9a ist eine Rohrleitung 10a eines Rohrleitungssystems 10 angeschlossen. Diese Rohrleitung führt zunächst von dem Teilraum 9a in den Bereich der supraleitenden Wicklung 4a, wo sie mit der Wicklung in gut wärmeleitendem Kontakt steht. Beispielsweise führt die Rohrleitung 10a in spiralförmigen Windungen an der Innenseite der Wicklung entlang. Die Anbringung auf der Innenseite ist nicht zwingend; wichtig ist nur, dass die Rohrleitung mit permanentem Gefälle den gesamten Umfang der Wicklung erreicht und dort thermisch gut an die zu kühlenden Teile bzw. Leiter der Wicklung angekoppelt ist. Die Rohrleitung 10a schließt zumindest mit ihren wesentlichsten Teilen mit der Horizontalen einen Gefälle-(oder Neigungs-)Winkel  $\alpha$  von mehr als  $0,5^\circ$ , vorzugsweise mehr als  $1^\circ$  ein. So beträgt z.B. der Gefällwinkel  $\alpha$  im Bereich der Wicklung 4a etwa  $3^\circ$ . Die Rohrleitung 10a führt dann in den Bereich der unteren Wicklung 4b, wo sie in entsprechender Weise angeordnet ist. Sie ist an ihrem Ende 11 abgeschlossen. Der das Kältemittel  $k_1$  aufnehmende Querschnitt  $q$  der Rohrleitung 10a kann vorteilhaft klein gehalten werden und insbesondere unter  $10 \text{ cm}^2$  liegen. Bei dem dargestellten Ausführungsbeispiel beträgt  $q$  etwa  $2 \text{ cm}^2$ .



In der mit dem Gefälle verlegten Rohrleitung 10a befindet sich ein erstes Kältemittel k1, beispielsweise Neon (Ne). Das Kältemittel k1 zirkuliert dabei in der Rohrleitung 10a einschließlich dem damit verbundenen Teilraum 9a auf Grund eines an sich bekannten Thermosyphon-Effektes. Hierbei kondensiert das Kältemittel in dem Teilraum 9a an der Kaltfläche 7 und gelangt in flüssiger Form in den Bereich der supraleitenden Wicklungen. Dort erwärmt sich das Kältemittel, beispielsweise unter zumindest teilweiser Verdampfung, und strömt in der Rohrleitung 10a zurück in den Teilraum 9a, wo es rekondensiert wird.

Gemäß dem dargestellten Ausführungsbeispiel umfasst das Leitungssystem 10 eine zweite Rohrleitung 10b, die parallel zu der ersten Rohrleitung 10a führt und mit einem weiteren Kältemittel k2 gefüllt ist. Dieses Kältemittel ist von dem ersten Kältemittel k1 verschieden, d.h., es hat eine andere, vorzugsweise höhere Kondensationstemperatur. Beispielsweise wird für das Kältemittel k2 Stickstoff ( $N_2$ ) gewählt. Die Rohrleitung 10b ist dabei an den (zweiten) Teilraum 9b der Kondensorkammer 8 angeschlossen. Das zweite Kältemittel k2 zirkuliert dabei ebenfalls auf Grund eines Thermosyphon-Effektes in der geschlossenen Rohrleitung 10b und dem Teilraum 9b. Bei einer Abkühlung der Magnetwicklungen wird dann zuerst das zweite Kältemittel k2 kondensiert, wobei die Wicklungen z.B. im Falle einer Verwendung von  $N_2$  als Kältemittel k2 auf etwa 70 bis 80 K vorgekühlt werden können. Mit weiterer Abkühlung der Kaltfläche 7 kondensiert dann das erste, in der Rohrleitung 10a befindliche Kältemittel k1 mit der vergleichsweise niedrigeren Kondensationstemperatur und führt so zu einer weiteren Abkühlung auf die vorgesehene Betriebstemperatur von beispielsweise 20 K (bei Verwendung von Ne als erstem Kältemittel k1). Das zweite Kältemittel k2 kann bei dieser Betriebstemperatur im Bereich des Teilraums 9b ausgefroren sein.

Abweichend von dem in Figur 1 dargestellten Ausführungsbeispiel kann die erfindungsgemäße Einrichtung 2 der Supraleitungstechnik selbstverständlich auch nur ein Leitungssystem mit nur einer einzigen Rohrleitung aufweisen. Sieht man eine größere Anzahl von Rohrleitungen vor, so können mehrere Rohrleitungen thermisch auch an separate Kaltköpfe oder an auf verschiedenen Temperaturniveaus liegende Stufen einer Kälteeinheit angekoppelt sein. Bei zweistufigen Kälteeinheiten bzw. Kaltköpfen, wie sie insbesondere zur Kühlung von thermischen Schilden eingeplant werden, würde man zu einer schnelleren Vorkühlung mit einer weiteren Thermosyphon-Rohrleitung, die beispielsweise mit  $N_2$  oder Ar gefüllt ist, die Magnetwicklungen - neben der thermischen Anbindung an die zweite Stufe - auch an die erste (wärmere) Stufe ankoppeln.

Selbstverständlich ist die vorbeschriebene Thermosyphon-Kühlung auch für Magnete anwendbar, die vertikal angeordnete Wicklungen aufweisen. Ein Ausführungsbeispiel einer Einrichtung nach der Erfindung mit entsprechenden Wicklungen ist in Figur 2 angedeutet. Die allgemein mit 12 bezeichnete Einrichtung enthält einen solenoidförmigen Supraleitungsmagneten 13, der z.B. vier in Achsrichtung hintereinander liegende supraleitende Wicklungen 14j (mit  $j = 1 \dots 4$ ) aufweist. Die einzelnen Wicklungen werden dabei z.B. jeweils an beiden Stirnseiten über zumindest im wesentlichen vertikal verlaufende Rohrleitungen 15i (mit  $i = 1 \dots 8$ ) gekühlt, die z. B. mit einem Kältemittel  $k_1$  gefüllt sind. Hier kann also auf eine Spiralform wie im Falle des Ausführungsbeispiels nach Figur 1 verzichtet werden und der Gefällewinkel  $\alpha$  beträgt in großen Teilen des allgemein mit 20 bezeichneten Leitungssystems etwa  $90^\circ$ . Eine Kondensorkammer 18 und ein Kaltkopf werden im Allgemeinen oberhalb der Wicklungen angeordnet, um so das erforderliche Gefälle zu gewährleisten. Pro Wicklung ist mindestens eine Rohrleitung 15i erforderlich, da im Gegensatz zu horizontal angeordneten Wicklungen nicht eine Rohrleitung alle Wicklungen unter Beibehaltung des Gefälles erreichen kann.

Um sicherzustellen, dass jede Rohrleitung 15i genügend rekon-  
densiertes Kältemittel k1 erhält, muss das gesamte, aus den  
Rohrleitungen 15i gebildete Rohrleitungssystem 20 entweder  
5 als ein System kommunizierender Röhren ausgeführt sei und im  
Bereich der Wicklungen 14j komplett mit dem flüssigen Kälte-  
mittel geflutet sein. Dies ist in der Figur 2 durch eine  
schwärzere Einfärbung des Kältemittels k1 angedeutet, während  
das verdampfte Kältemittel heller eingefärbt und mit k1' be-  
10 zeichnet ist. Oder aber jede Rohrleitung 15i muss eine sepa-  
rate Kondensor(teil)kammer an dem Kaltkopf erhalten.

Selbstverständlich kann für die in Figur 2 angedeutete Aus-  
führungsform einer Einrichtung 12 nach der Erfindung auch ein  
15 Leitungssystem mit parallel verlaufenden, mit unterschiedli-  
chen Kältemitteln (k1 bzw. k2) gefüllten Rohrleitungen vorge-  
sehen werden.

Abweichend von den dargestellten Ausführungsbeispielen kann  
20 eine erfindungsgemäße Einrichtung der Supraleitungstechnik  
ein Leitungssystem mit mindestens einer Rohrleitung aufwei-  
sen, in der auch in Gemisch aus zwei Kältemitteln mit unter-  
schiedlichen Kondensationstemperaturen vorhanden ist. Dann  
kann folglich bei einer allmählichen Abkühlung zunächst das  
25 Gas mit der höchsten Kondensationstemperatur kondensieren und  
einen geschlossenen Kreislauf zur Wärmeübertragung an eine zu  
kühlende Wicklung ausbilden. Nach einer Vorkühlung dieser  
Wicklung bis zur Tripelpunkttemperatur dieses Gases wird die-  
ses dann im Bereich der Kondensorkammer ausfrieren, worauf  
30 die andere Gasgemischkomponente mit der niedrigeren Kondensa-  
tionstemperatur die weitere Abkühlung auf die Betriebstempe-  
ratur gewährleistet.

In der Praxis kommen als Kältemittel je nach gewünschter Ar-  
35 beitstemperatur die Gase He, H<sub>2</sub>, Ne, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, Ar sowie ver-  
schiedene Kohlenwasserstoffe in Frage. Die Auswahl des jewei-  
ligen Kaltgases erfolgt so, dass bei der vorgesehenen Be-

triebstemperatur das Kältemittel gleichzeitig gasförmig und flüssig vorliegt. Auf diese Weise ist eine Zirkulation unter Ausnutzung eines Thermosyphon-Effektes zu gewährleisten. Zur gezielten Einstellung der Füllmenge bei gleichzeitiger Begrenzung des Systemdrucks können warme und/oder kalte Ausgleichsbehälter an dem Leitungssystem vorgesehen werden.

Selbstverständlich hängt die Wahl des Kältemittels auch von dem verwendeten Supraleitermaterial ab. Wird ein LTS-Material wie  $\text{Nb}_3\text{Sn}$  vorgesehen, kommt nur He als Kältemittel in Frage.

## Patentansprüche

## 1. Einrichtung der Supraleitungstechnik

- mit einem Magneten, der mindestens eine supraleitfähige,  
5 kältemittelfreie Wicklung enthält,
- mit einer Kälteeinheit, die mindestens einen Kaltkopf aufweist,

und

- mit Mitteln zur thermischen Ankopplung der mindestens  
10 einen Wicklung an den mindestens einen Kaltkopf,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass die thermischen Ankopplungsmittel als ein Leitungssystem (10) mit wenigstens einer Rohrleitung (10a, 10b; 15i) für ein darin nach einem Thermosyphon-Effekt zirkulierendes Kältemittel  
15 (k1, k1'; k2) ausgebildet sind.

2. Einrichtung nach Anspruch 1, d a d u r c h g e -  
k e n n z e i c h n e t , dass das Leitungssystem (10) zwei Rohrleitungen (10a, 10b) aufweist, die mit verschiedenen Kältemitteln (k1 bzw. k2) mit unterschiedlichen Kondensations-  
20 temperaturen gefüllt sind.

3. Einrichtung nach Anspruch 2, d a d u r c h g e -  
k e n n z e i c h n e t , dass die Rohrleitungen (10a, 10b)  
25 an einen gemeinsamen Kaltkopf (6) thermisch angekoppelt sind.

4. Einrichtung nach Anspruch 2, d a d u r c h g e -  
k e n n z e i c h n e t , dass die Rohrleitungen an getrennte Kaltköpfe thermisch angekoppelt sind.

5. Einrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass zumindest Teile der mindestens einen Rohrleitung (10a, 10b) ein Gefälle gegenüber der Horizontalen (h) von mehr als 0,5°,  
35 vorzugsweise mehr als 1°, aufweisen.

6. Einrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Querschnitt (q) der das Kältemittel (k1, k1'; k2) führenden zumindest einen Rohrleitung (10a, 10b) unter 10 cm<sup>2</sup> liegt.

5 7. Einrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die supraleitende Wicklung (4a, 4b; 14j) Hoch-T<sub>c</sub>-Supraleitermaterial enthält.

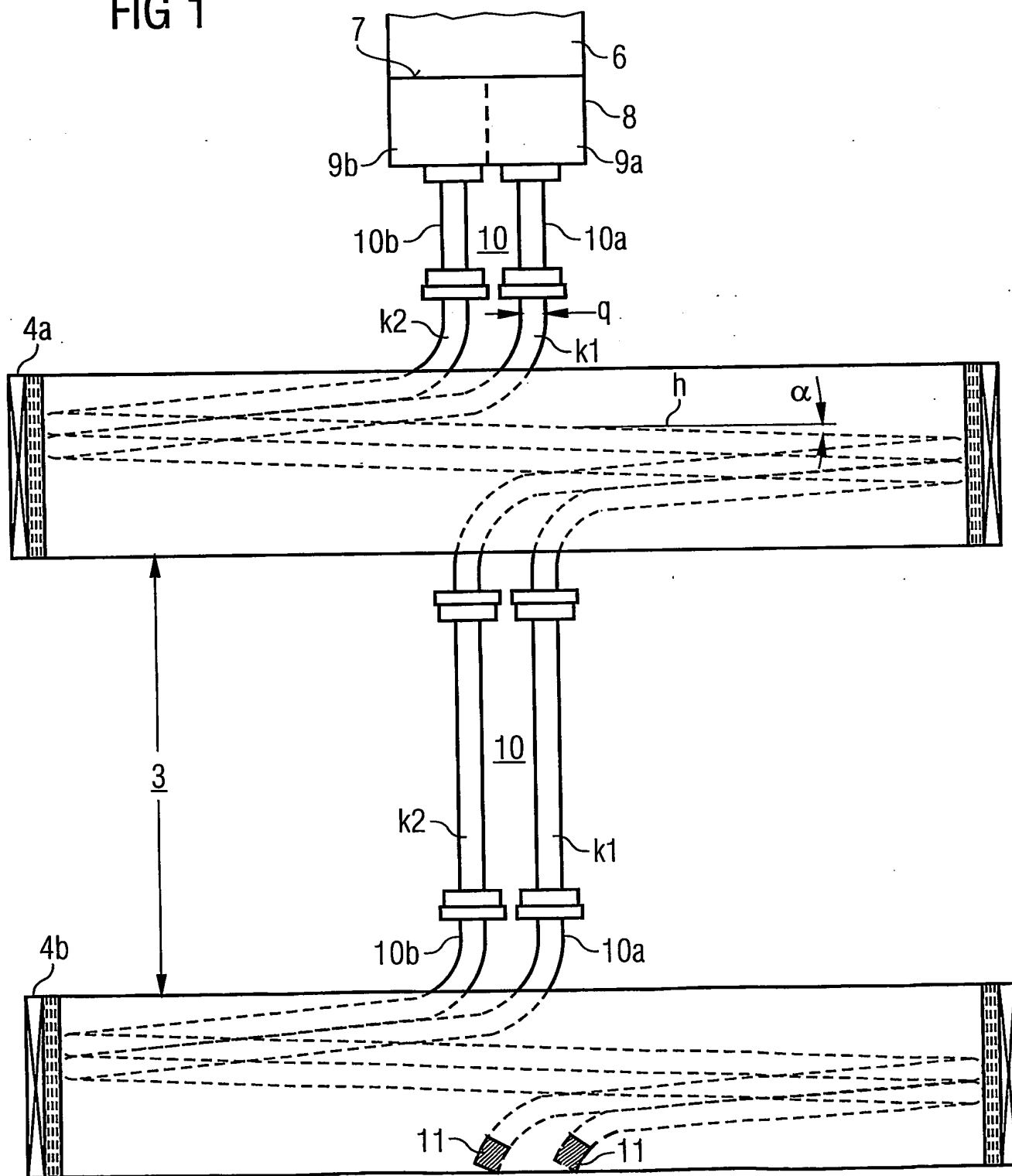
10 8. Einrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass das Supraleitermaterial auf einer Temperatur unter 77 K zu halten ist.

15 9. Einrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass als Kältemittel (k1 bzw. k2) ein Gemisch aus mehreren Kältemittelkomponenten mit unterschiedlichen Kondensationstemperaturen vorgesehen ist.

20 10. Einrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der supraleitende Magnet (3, 13) Teil einer MRI-Anlage ist.

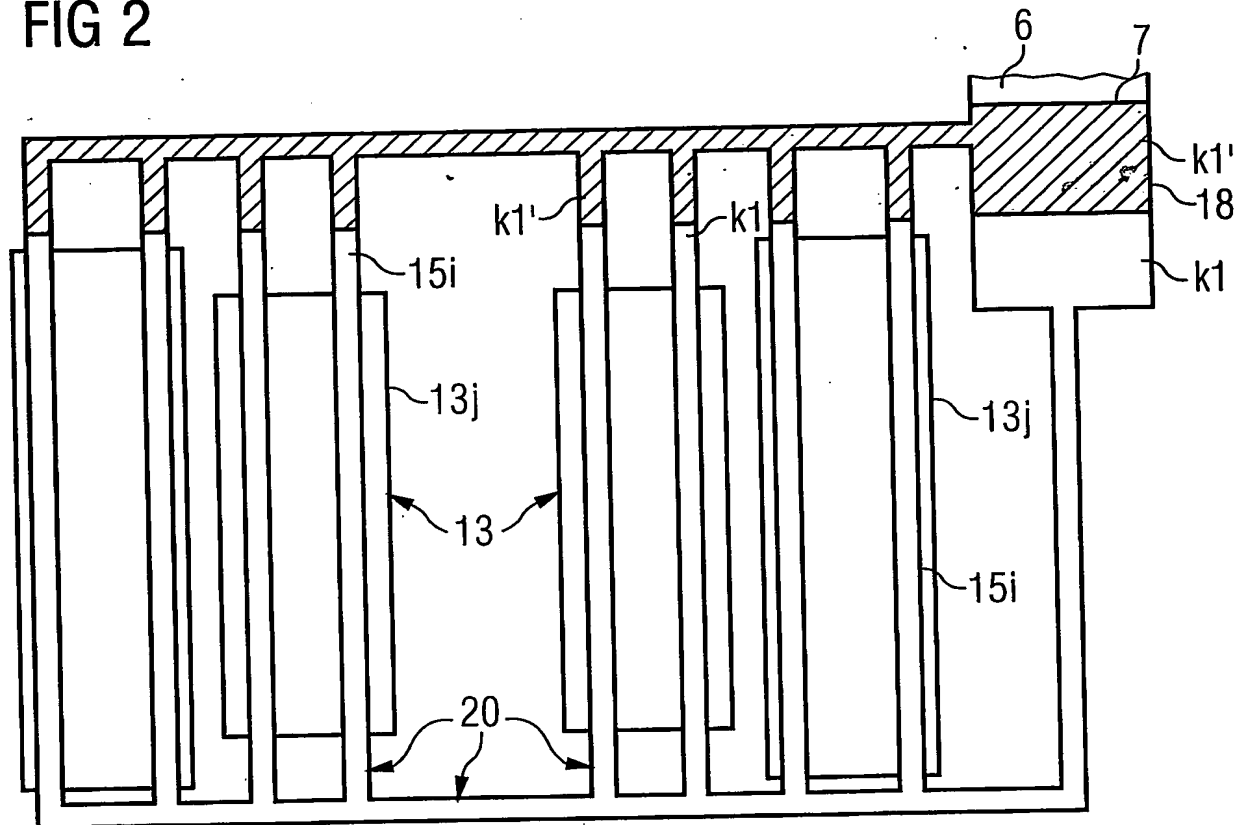
1/2

FIG 1



2

FIG 2





## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/DK/01378

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 H01F6/04 F02D15/02 F25B25/00 G01R33/3815

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 F25B F02D H01F G01R

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 4 726 199 A (TAKANO ICHIRO ET AL) 23 February 1988 (1988-02-23) column 3, line 35 - last line; figure 1	1
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 1995, no. 03, 28 April 1995 (1995-04-28) & JP 06 342721 A (TOKIN CORP), 13 December 1994 (1994-12-13) abstract	1
A	US 4 995 450 A (GEPPELT ELMO W ET AL) 26 February 1991 (1991-02-26) column 2, line 38 - column 3, line 28; figure 1	1

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.☒ Patent family members are listed in annex.

## \* Special categories of cited documents:

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- \*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- \* & \* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

12 September 2003

Date of mailing of the international search report

22/09/2003

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Martí Almeda, R

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/DE 02/01378

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	DE 198 13 211 A (SIEMENS AG) 7 October 1999 (1999-10-07) cited in the application abstract; figures -----	1,7,8,10
A	US 5 070 702 A (JACKSON HENRY W) 10 December 1991 (1991-12-10) claims 107,132; figure 1 -----	9

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/DE/01378

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 4726199	A	23-02-1988	JP 1913409 C	09-03-1995
			JP 5063954 B	13-09-1993
			JP 61071608 A	12-04-1986
			DE 3584412 D1	21-11-1991
			EP 0175495 A2	26-03-1986
JP 06342721	A	13-12-1994	NONE	
US 4995450	A	26-02-1991	NONE	
DE 19813211	A	07-10-1999	DE 19813211 A1	07-10-1999
			EP 0947849 A2	06-10-1999
			JP 11329834 A	30-11-1999
US 5070702	A	10-12-1991	GB 2246194 A , B	22-01-1992

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 93/01378

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
IPK 7 H01F6/04 F02D15/02 F25B25/00 G01R33/3815

Nach der internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)  
IPK 7 F25B F02D H01F G01R

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)  
EPO-Internal, WPI Data, PAJ

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 4 726 199 A (TAKANO ICHIRO ET AL) 23. Februar 1988 (1988-02-23) Spalte 3, Zeile 35 - letzte Zeile; Abbildung 1	1
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 1995, no. 03, 28. April 1995 (1995-04-28) & JP 06 342721 A (TOKIN CORP), 13. Dezember 1994 (1994-12-13) Zusammenfassung	1
A	US 4 995 450 A (GEPPELT ELMO W ET AL) 26. Februar 1991 (1991-02-26) Spalte 2, Zeile 38 - Spalte 3, Zeile 28; Abbildung 1	1

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

- \*A\* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
- \*E\* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
- \*L\* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
- \*O\* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
- \*P\* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

\*T\* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

\*X\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

\*Y\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

\*G\* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

12. September 2003

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

22/09/2003

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde  
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax. (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Marti Almeda, R

## C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie°	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	DE 198 13 211 A (SIEMENS AG) 7. Oktober 1999 (1999-10-07) in der Anmeldung erwähnt Zusammenfassung; Abbildungen -----	1,7,8,10
A	US 5 070 702 A (JACKSON HENRY W) 10. Dezember 1991 (1991-12-10) Ansprüche 107,132; Abbildung 1 -----	9

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 93/01378

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 4726199	A	23-02-1988	JP 1913409 C 09-03-1995
			JP 5063954 B 13-09-1993
			JP 61071608 A 12-04-1986
			DE 3584412 D1 21-11-1991
			EP 0175495 A2 26-03-1986
JP 06342721	A	13-12-1994	KEINE
US 4995450	A	26-02-1991	KEINE
DE 19813211	A	07-10-1999	DE 19813211 A1 07-10-1999
			EP 0947849 A2 06-10-1999
			JP 11329834 A 30-11-1999
US 5070702	A	10-12-1991	GB 2246194 A , B 22-01-1992